

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-169022

(43)Date of publication of application : 14.06.2002

(51)Int.Cl.

G02B 5/30  
G02B 5/18  
G02B 6/12  
G02B 6/293

(21)Application number : 2000-369025

(71)Applicant : **NIPPON SHEET GLASS CO LTD**

(22)Date of filing : 04.12.2000

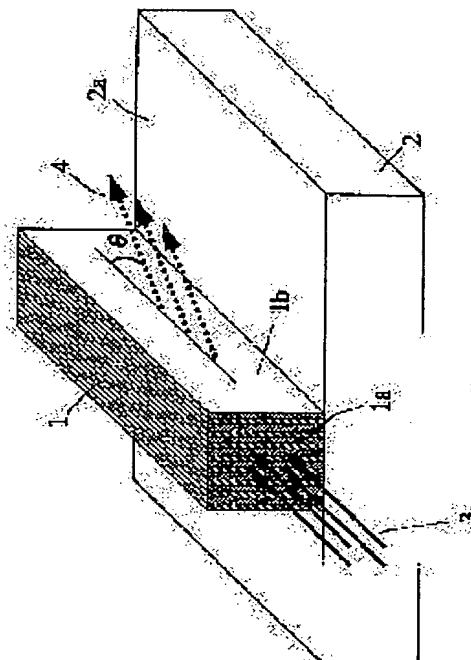
(72)Inventor : KIKKO SHIGEO  
NARA MASATOSHI  
ASAI TAKAHIRO  
NAKAZAWA TATSUHIRO  
KOYAMA TADASHI

**(54) OPTICAL ELEMENT, SPECTROSCOPIC DEVICE AND INTEGRATED OPTICAL DEVICE USING THE SAME**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve such problems that the scale of the device has to be enlarged so as to improve the performance of an optical demultiplexer which uses a diffraction grating because the wavelength dependence of the exiting angle from the diffraction grating is low.

**SOLUTION:** In the optical element using the end face of a periodical multilayered structure as the entrance or exit face of light, the light leaking from the multilayered structure shows preferable directivity and high wavelength dependence of the angle. These properties are used to realize a spectroscopic device of high resolution without enlarging the size of the device. Particularly, by disposing the multilayered structure with its layer planes perpendicular to the substrate, an optical element suitable for integration can be formed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-169022

(P2002-169022A)

(43) 公開日 平成14年6月14日 (2002.6.14)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード*(参考)	
G 0 2 B	5/30	G 0 2 B	5/30	2 H 0 4 7
	5/18		5/18	2 H 0 4 9
	6/12		6/12	Z
	6/293			N
				F
審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 11 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願2000-369025(P2000-369025)

(22) 出願日 平成12年12月4日 (2000.12.4)

(71) 出願人 000004008

日本板硝子株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

(72) 発明者 橋高 重雄

大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号

日本板硝子株式会社内

(72) 発明者 奈良 正俊

大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号

日本板硝子株式会社内

(74) 代理人 100069084

弁理士 大野 精市

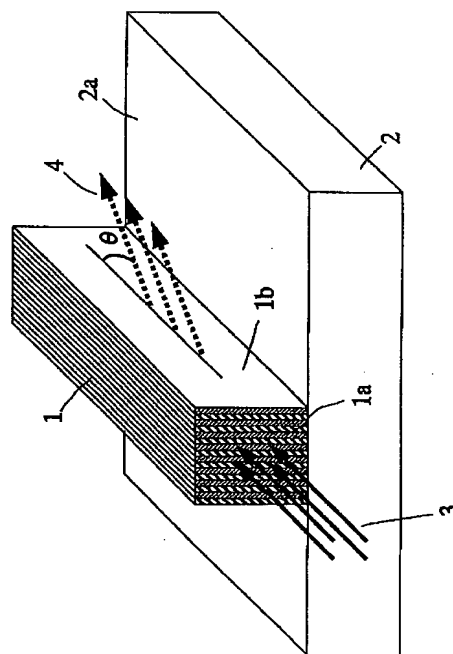
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子およびそれを用いた分光装置および集積光学装置

(57) 【要約】

【課題】 回折格子からの出射角の波長依存性は小さいため、回折格子を使用した光分波器の性能を向上させるためには装置を大型化せざるを得ないという問題点があった。

【解決手段】 周期的多層構造体の端面を光入射面、もしくは光出射面とする光学素子において、この多層構造体から漏出する光の指向性が良く、その角度の波長依存性が大きいことを利用し、装置を大型化することなく高分解能の分光装置を実現することができる。とくに多層構造体の層面を基板に垂直に配置することにより、集積化に適した光学素子が形成できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】平板状基板表面に周期的多層構造体をその層面が基板表面と垂直になるように形成し、前記構造体の端面を光入射面もしくは光出射面の少なくとも一方として使用することを特徴とする光学素子。

【請求項 2】前記周期的多層構造体の 1 周期を形成する材料が 2 種であり、そのうち一方が、空気層あるいは真空層であることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 3】前記周期的多層構造体の片側表面に反射層を設けたことを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 4】前記周期的多層構造体の層面が全体として曲面状であることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 5】請求項 1 に記載の光学素子と、該周期的多層構造体の片側端面に複数の波長を含む光束を入射する手段と、多層構造体表面から波長ごとに定まる角度で出射する光束を検出する手段とからなる分光装置

【請求項 6】前記光束を入射する手段が光ファイバであることを特徴とする請求項 5 に記載の分光装置。

【請求項 7】前記出射する光束を検出する手段が前記平板状基板表面に形成したレンズ体と光ファイバからなることを特徴とする請求項 5 に記載の分光装置。

【請求項 8】前記出射する光束を検出する手段が前記平板状基板表面に形成したレンズ体および光導波路と、光ファイバとからなることを特徴とする請求項 5 に記載の分光装置。

【請求項 9】前記周期的多層構造体の片側表面に反射層を設け、他の側の表面から光束を出射させることを特徴とする請求項 5 に記載の分光装置。

【請求項 10】前記周期的多層膜構造体の両側表面に接する媒体の屈折率が互いに異なることを特徴とする請求項 5 に記載の分光装置。

【請求項 11】前記媒体の一方が空気もしくは真空であり、他方が均質な固体導波層であることを特徴とする請求項 10 に記載の分光装置。

【請求項 12】前記周期的多層構造体の層面が全体として曲面状であることを特徴とする請求項 5 に記載の分光装置。

【請求項 13】前記光ファイバを所定位置に保持するため、前記基板表面に溝を設けたことを特徴とする請求項 6 または 7 または 8 に記載の分光装置。

【請求項 14】請求項 1 に記載の光学素子と、該周期的多層構造体表面に複数の波長を含む光束を所定の入射角度で入射する手段と、多層構造体の片側端面から出射する光束を受光する手段とからなる集積光学装置

【請求項 15】前記光束の入射手段が前記平板状基板上に形成した半導体レーザであることを特徴とする請求項 14 に記載の集積光学装置。

【請求項 16】前記出射する光束を受光する手段が光フ

ィバであることを特徴とする請求項 14 に記載の集積光学装置。

【請求項 17】前記周期的構造体の層面が全体として曲面状であることを特徴とする請求項 14 に記載の集積光学装置。

【請求項 18】前記光ファイバを所定位置に保持するため、前記基板表面に溝を設けたことを特徴とする請求項 16 に記載の集積光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システム、光計測機器等に用いられる光学素子および分光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、インターネットの急速な普及により、光ファイバー通信網の容量の増大が強く求められており、その手段として WDM（波長多重）通信の開発が急速に進められている。WDM 通信においては、わずかな波長差の光が個別の情報を伝達することから、波長選択性の良い光分波器、フィルタ、アイソレータといった光学機能素子が必要である。上記機能素子においては、量産性、小型化、集積化、安定性などが強く求められていることは言うまでもない。

【0003】波長多重光通信のように人為的に複数の波長が多重化された光信号を分波・検出する目的や、分光測定のように被測定光のスペクトル解析等の目的に光分波器（または分光器）が用いられる。この光分波器には、プリズム、波長フィルタ、回折格子等の分光素子が必要とされる。とくに回折格子は代表的な分光素子であり、石英やシリコン基板などの表面に周期的な微細凹凸構造を形成したものが用いられている。その周期的凹凸構造によって発生する回折光が互いに干渉し、ある特定波長の光が特定の方向に出射される。この特性が分波素子として利用されている。

【0004】回折格子を用いた分光光学系の一例を図 16 に示す。光ファイバ 21 から出射した波長多重化された光線 30 はコリメータレンズ 22 で平行光 31 となり回折格子 23 に入射される。この光は回折格子 23 で分波され、波長ごとに異なった出射角をもって出射される。この出射光 32 は再びコリメータレンズ 22 を通過し、受光面 24 上に集光スポット群 40 を形成する。この各集光スポットの位置に受光手段としてフォトダイオードなどの光検出器、あるいは光ファイバの端面を設置すれば、所定の波長毎に分離した信号出力を得ることができる。また、回折格子に入射する光が連続スペクトルをもっていれば、受光面に設置する受光手段の間隔に応じてスペクトルの離散化した出力が得られる。

【0005】反射回折格子の場合、回折格子の回折次数を  $m$ 、格子定数を  $d$ 、使用波長を  $\lambda$  とし、回折格子を形成した面の法線と入射光線（光ファイバの光軸 5）のな

す角を $\theta_i$ 、出射光線のなす角を $\theta_o$ とすると、次式が成り立つ。

$$\sin \theta_i + \sin \theta_o = m \lambda / d$$

$\theta_i$ を一定とし、波長が $\Delta \lambda$ だけ変化すると、回折格子から距離だけ離れた受光面上に到達する光線の位置の変化 $\Delta x$ は、

$$\Delta x = (L m / (d \cdot \cos \theta_o)) \cdot \Delta \lambda$$

で与えられる。したがって波長間隔に応じて上式から計算される位置間隔で受光手段を受光面上に配列しておけば、各波長ごとに分離した信号が得られる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、回折格子からの出射角の波長依存性は小さい。例えば、光通信で用いられる波長1.55 $\mu$ m帯で波長間隔0.8nm(周波数間隔100GHzに相当)の光を分波する場合を考える。回折次数 $m=25$ 次とし、入射角 $\theta_i=71.5^\circ$ 、出射角 $\theta_o=38.5^\circ$ とすると、回折格子の格子定数 $d$ は24.7 $\mu$ mとなる。この系で上記波長間隔0.8nmに対して得られる出射角の変化は約0.06 $^\circ$ に過ぎず、50 $\mu$ m間隔で配列した受光素子でこれを分離して受光するためには $L=48$ mmの距離が必要となる。

【0007】すなわち、受光面上の光スポットの位置変化 $\Delta x$ は受光手段が一定の大きさをもつため、通常数10 $\mu$ m以上とする必要がある。回折格子の定数である $m$ 、 $d$ は大きくは変えられないため、小さい波長変化 $\Delta \lambda$ に対して必要な $\Delta x$ を得るためには距離 $L$ を大きくする必要があり、回折格子を使用した光分波器(分光装置)の性能を向上させるためには装置を大型化せざるを得ないという問題点があった。

【0008】本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、回折格子より波長に対して大きな角度変化を生じ、かつ集積化に適した光学素子を提供し、分光光学系を小型化することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明においては、平板状基板表面に周期的多層構造体を、その層面が基板表面と垂直になるように形成し、多層構造体の端面を光入射面もしくは光出射面の少なくとも一方として使用するような光学素子を提供する。

【0010】一例として、周期的多層構造体の1周期を形成する材料が2種であり、そのうち一方が、空気層あるいは真空層であることが可能である。さらに周期的多層構造体の片側表面に反射層を設けて性能を向上させることができ、また、周期的多層構造体の層面が全体として曲面状とすることもできる。このような光学素子においては、周期的多層構造体の形成された基板上に、導波路、導波層、レンズ、光ファイバー固定構造、半導体レーザなどを集積化することができる。

【0011】また、前記周期的多層構造体の片側端面を

光入射面として複数波長の混合した光束を入射させ、反射層の反対側にある多層膜層表面から波長ごとに異なる角度で光線を出射させることにより分光装置を提供することができる。この場合、基板が平行平面であり、厚さが0.1mm以上2mm以下であることが望ましい。

【0012】本発明では、周期的多層構造体の端面を光入射面、もしくは光出射面とする光学素子において、この多層構造体から漏出する光の指向性が良く、その角度の波長依存性が大きいことを利用する。また周期的多層構造体の層面を基板に対して垂直に設定することにより、上記の漏出光を基板に平行にすることができるため、他の光学素子を同一基板上に配設することにより集積化した光学素子を提供することができる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について具体的に説明する。光学的多層膜を反射防止膜、フィルタなどに利用するにあたっては、通常基板表面に設けた多層膜層の最上面から最下面まで貫通する光線を前提として考えられているものがほとんどである。多層膜層の端面、すなわち周期的構造が露出している面を、光入射面もしくは光出射面として使用した例としては、以下のようなものがあるに過ぎない。

【0014】傾いた多層膜層の断面に入射する光線の方向の理論的な解析が示され(Applied Physics B, 39巻、p.231、1986年)、また、構造的複屈折による偏光分離をねらいとし、多層膜層の屈折率がTE、THの偏光によって大きく異なる性質(いわゆる構造的複屈折)を利用して、複屈折材料と同様の偏光分離効果を得たことが開示されている(Optics Letters 15巻、9号、p.516、1990年)。さらに周期的多層膜層を1次元フォトリソニック結晶と考え、第1バンドの形状がバンドギャップ近傍で直線状となることから、非常に大きい分散(スーパープリズム効果)が得られるとした報告もある(“International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures” Technical Digest, F1-3)。

【0015】本発明では、基板上に多層構造体を、その層面が基板表面と垂直になるように形成し、その端面を光入射面もしくは光出射面として用いることを特徴とする。図1は本発明の基本的実施形態を模式的に示した斜視図である。平行平板状基板2の片側表面2aに、周期的多層構造体1をその層面が基板に垂直になるように形成する。さらに、周期的多層構造体1の端面1aから入射光3を送り込み、フォトリソニック結晶の効果による屈折光(出射光)4を表面1bから取り出す。

【0016】本発明者らの実験によると、多層構造1の端面1aから波長 $\lambda$ の入射光(レーザ光)3を入射させると、多層構造体1内部での導波光の他に、フォトリソニック結晶の作用による屈折光4が発生する。この屈折光4の方向(角度 $\theta$ )は波長 $\lambda$ に対して一定であり、指向性の非常に良い平行光束となる。また、 $\theta$ の値は $\lambda$ が異な

ると大きく変化するため、高分解能の分光素子として利用することができる。

【0017】上記現象の原理について簡単に説明する。図2は本発明が対象とする周期的多層構造体1の一例を示す斜視図である。屈折率 $n_A$ をもち厚さ $t_A$ の物質Aと屈折率 $n_B$ をもち厚さが $t_B$ の物質Bが層状に繰り返しY方向に積層されている。各層の境界面、表面1bは(X、Z)平面内にあって互いに平行である。この境界面、表面1bをここでは層面と総称する。この多層構造体の周期 $a$ は( $t_A + t_B$ )に等しい。

【0018】このような周期的多層構造体の端面(層面とは平行でない面)1aに波長 $\lambda$ の光を入射したとき、この光がこの周期的多層構造体内でどのように伝搬するか解析すると、一定条件においてこの周期的多層構造体はいわゆるフォトニック結晶としてはたらき、伝搬する光に特異な効果を発現させることがわかる。

【0019】ここで、屈折率が均質な2つの媒体の境界における光の屈折を作図によって表現する方法を図3を用いて説明する。屈折率 $n_A$ の媒体Aと屈折率 $n_B$ の媒体B( $n_A < n_B$ とする)の媒体A側境界面近傍を、境界面と平行に進む光線 $R_A$ は、角度 $\theta$ の屈折光 $R_B$ となって媒体B側に放出される。

【0020】この角度 $\theta$ は、半径が $n_A$ と $n_B$ に比例した2つの円 $C_A$ 、 $C_B$ を用いた作図によって求めることができる。図3に示すように円 $C_A$ 、 $C_B$ を描く。光線 $R_A$ に対応する方向をもつベクトルを円 $C_A$ 上からの法線として描く。この円 $C_A$ 上の点から2つの円の中心を結ぶ直線に平行な直線を引き、円 $C_B$ との交点を求める。この交点から円 $C_B$ の法線方向にベクトルを描くと、これが屈折光 $R_B$ の方向を示している。この円 $C_A$ が均質物質Aに波長 $\lambda$ の光が伝搬する際のもっとも基本的なフォトニックバンドに相当する。

【0021】周期的多層構造体に対してもフォトニック結晶の理論によりバンド図を計算することができる。計算の方法は、"Photonic Crystals", Princeton University Press (1995)あるいは、Physical Review B 44巻、16号、p.8565、1991年、などに詳しい。

【0022】図2の周期的多層構造体はY方向(積層方向)には限定されているが、XおよびZ方向(平面の広がる方向)には無限に広がっていると仮定する。図4

は、 $n_A = 3.478$  (厚さ0.5a)

$n_B = 1.00$  (厚さ0.5a)

の層を交互に重ねた周期 $a$ の多層構造体についての、平面波法によるバンド計算の結果を、複数の波長に対するTE偏光の第1～第3バンドについて示したものである。各図は、逆空間における1周期を表わすブリルアンゾーンである。縦はY軸方向で上下の境界線は中心から $\pm \pi/a$ の範囲を表わす。横はZ軸方向(X軸方向も同じ)であり、周期性がない方向なので境界線は存在せ

ず、図の両端は計算の範囲を表す便宜的なものである。ブリルアンゾーン内での位置は多層構造内での波数ベクトルを、曲線は入射光の波長 $\lambda$ (真空中)に対応するバンドを意味する。なお、図4の各曲線に対して示した数字は多層構造体の周期/波長( $a/\lambda$ )の値である。周期的多層構造体に対するバンド図は $a/\lambda$ がある値より大きくなると、不連続(いわゆるフォトニックバンドギャップ)が生じる。

【0023】図5～7は波長 $\lambda$ の入射光4が周期的多層構造体に入射したときのZ軸方向への導波光とそれらがこの多層構造体表面に接する媒体への屈折光を第1～第3バンドについてそれぞれ示している。多層構造体内の光線はバンド図に示される曲線の法線として表わされるので、第1～第3バンドにおけるZ軸方向の導波光は図5～7に示す1A、1B、2A、2B、3A、3Bで表される。本発明者らの研究によると、この中で特に導波光強度の大きいものは1B、3Bである。各導波光は、多層構造体表面に接する媒体との界面から屈折光となって出射される。ただし、屈折光が放出されるためには、図から明らかなように、各円の半径で表される媒体の屈折率が一定値より大きい必要がある。

【0024】同じ導波光に対応する屈折光角度 $\theta$ は、ほぼ一定値となり、出射光は非常に指向性の良い光束となることが予想される。 $\theta$ の値は入射光の波長 $\lambda$ による差が大きいので、高分解能の波長分離が実現する。したがって、図1の構成による多層構造体は高解像の分光素子として用いることができる。

【0025】また、TE、TH偏光によるバンド図には違いがあるため、同じ波長の光であっても $\theta$ の値が偏光によって大きく異なる。この特性を利用することにより、本発明による光学素子は偏光分離に用いることもできる。

【0026】周期的多層構造体は、図2に示すような2種類の物質による構成に限定されない。物質は3種類以上であってもよい。ただし積層は各層の屈折率、厚みが一定の周期をもっている必要がある。周期的多層構造体は一般的には $n$ 種類( $n$ は正の整数)の物質の積層体からなる。1周期を構成する物質1、2、 $\dots$ 、 $n$ の屈折率を $n_1$ 、 $n_2$ 、 $\dots$ 、 $n_n$ 、厚さを $t_1$ 、 $t_2$ 、 $\dots$ 、 $t_n$ とする。また使用波長 $\lambda$ における多層構造一周

期あたりの平均屈折率 $n_M$ を

$$n_M = (t_1 \cdot n_1 + t_2 \cdot n_2 + \dots + t_n \cdot n_n) / a$$

と定義する。1周期 $a$ は、

$$a = t_1 + t_2 + \dots + t_n$$

である。

【0027】本発明に適した多層構造体の平均屈折率と

周期に関する条件は、

$$0.5\lambda / n_M \leq a$$

により表わされる。この範囲であれば、 $0.5\lambda / n_M$

$= a$ の近傍に存在する積層方向のバンドギャップよりも

$a/\lambda$ が大きくなるのでフォトニック結晶による効果を発揮することができる。周期 $a$ が上記条件の範囲よりも小さくなると、多層構造体の特性は平均屈折率を有する均質媒体に近いものとなってしまふ。

【0028】本発明の多層構造体は、半導体素子を製作するために広く用いられているフォトリソグラフィの手法によって基板上に製作することができる。例えば、基板上にSi層を形成し、その表面にフォトレジストを塗布する。各層の厚さに対応する幅をもつストライプ状のフォトマスクを用いてフォトレジストを露光し現像する。パターンニングされたフォトレジストをマスクとしてSi層を適当なエッチング液を用いてエッチングすることにより基板にはほぼ垂直な層状のSi部分と空気層による多層構造体が形成できる。この場合、フォトマスクに種々の構造パターンを織り込むことによって、多層構造体以外の光学素子を基板上に同時に形成することも可能である。

【0029】本発明に用いる多層構造体の材料としては、使用波長域における透明性が確保できるものであれば特に限定はない。真空蒸着、スパッタ、イオンアシスト蒸着、CVD法などの成膜方法により基板上に積層でき、かつエッチングが容易な材料が望ましい。上記のSiのほか、シリカ、酸化チタン、酸化タンタル、酸化ニオブ、フッ化マグネシウムなどが適する材料である。

【0030】もちろん、基板を直接加工しても良い。加工する基板の材質としては、ソーダライムガラス、光学ガラス、シリカなど各種のガラス材料が使用できる。またSi、GaAs、InPなどの半導体材料も使用できる。それらの単結晶基板上に成長させたエピタキシャル膜も当然使用できる。また、光学的機能を有するニオブ酸リチウムなどの各種光学結晶であってもよい。

【0031】上記材料と空気層または真空層（屈折率1）との組合せた構造体の製造が最も容易である。もちろん空気層の部分に他の媒体を充填してもよい。ただし、材料間の屈折率差が小さいと変調作用が弱くなり、バンド計算などで期待される作用が発揮されないこともあるので、屈折率差として0.1以上確保することが望ましい。

【0032】1周期内における多層構造体は、物理的厚さの等しい2層とするのが最も単純であるが、(1)2層の膜厚比を変える、(2)3層以上とする、(3)膜材質を3種以上とする、といった手段により平均屈折率やバンド構造の調整を行ない、分波特性や偏光特性、入射光の利用効率の改善などに役立てることも可能である。また、多層構造体を構成する各層が、連続的に屈折率が変化するものであっても、屈折率差が確保されていれば特性はほとんど同じとなる。基板の材質としては、上記の加工を施す場合と同様の材料が使用できる。その他、温度特性などの制限が小さければ、有機材料も使用できる場合がある。

【0033】つぎに周期的多層構造体の実施例を示し、その分光特性を説明する。本実施例はSi基板を直接加工した周期的多層構造体である。厚さ1mmのSi基板にフォトリソグラフィ技術により、ストライプ状パターンをパターンニングし、エッチング用マスクを形成した。エッチングは反応性イオンエッチングにより行ない、図8(A)に示すようなSiと空気の周期的多層構造体1を得た。多層構造体の周期は0.86 $\mu\text{m}$ で、Si層と空気層の厚さはともに0.43 $\mu\text{m}$ とした。Si層は20層となるようにマスクを設定した。多層構造体1の高さ、すなわちエッチング深さは20 $\mu\text{m}$ とした。図8(A)に示すように多層構造体1の端面1aが基板端面に一致するように基板を切断し、多層構造体1の長さを400 $\mu\text{m}$ とした。切断後の基板2の実際の大きさと多層構造体1部分の位置は図8(B)に示す。この基板上の多層構造体の位置はつぎの評価に適するように加工したもので、後述のように、装置としての応用の場合にはそれぞれに適した配置をとる必要がある。

【0034】図9に上記多層構造体1の特性を評価するための光学系を示す。半導体レーザ光源11により波長 $\lambda=1550\text{nm}$ および1520nmのレーザ光を光ファイバ15により取り出した。光ファイバ端面15aから出射した光をレンズ14でコリメートし1/4波長板12、偏光プリズム13を通してTE、TH直線偏光を得た。上記2つの波長、2つの偏光状態を組み合わせると入射光とし、多層構造体1の端面へ入射した。出射光4はf- $\theta$ 結像レンズ16を介して赤外光用CCDカメラ17に入力し、画像として観察した。

【0035】その結果、特定の角度 $\theta$ の出射光4を検出した。各 $\theta$ の値は、表1の通りである。

【表1】

波長 (nm)	偏光	$\theta (^{\circ})$
1520	TE	56
1550	TE	65
1520	TH	31
1550	TH	49

この結果から、30nmの波長変化に対する角度変化量は、TE偏光に対して9 $^{\circ}$ 、TH偏光に対して18 $^{\circ}$ であることがわかった。これはいわゆるスーパープリズム効果による非常に大きい分散が生じていることを示している。

【0036】本発明の応用例を、以下に示す。図10は、同一基板2上に多層構造体1とレンズ体7を同時に形成し、光の入出力手段として光ファイバ5a、5bを用いた例である。多層構造体端面1aへの入力光が複数の波長を含んでいる場合であっても、ほぼ単一波長の光

のみを出力光として多層構造体表面1bからの出射光4をレンズ体7で光ファイバ5bに集光、入射し、取り出すことができる。図には示していないが、光ファイバの位置決め用のV溝を基板2上に同時に形成してもよい。

【0037】図11は、入力光に含まれる複数波長の光をそれぞれ複数の出力光ファイバ5bに分離して取り出す分光装置の一例である。入力光ファイバ5aから複数の波長を含む入力光が多層構造体1に入射され、波長ごとに異なる出射角 $\theta$ をもつ出射光4が基板2とはほぼ平行な方向に出射される。この出射光4は同一基板2上に形成されたレンズ体7により、所定の出力光ファイバ5bに集光され結合される。

【0038】このとき各出力光ファイバの入射端面の直前の同一基板2上に屈折率一定の光導波路6を設けるのが好ましい。光ファイバ心線は通常125 $\mu$ mの直径をもつため、各波長の間隔が狭い場合、それを光ファイバの直径以上の間隔に分離して集光するためにはレンズ体7と出力光ファイバ5bの入射端面の間の距離を長くとらなければならない。また出射光は波長によって出射角度 $\theta$ が異なるため、出力光ファイバと高効率で結合させるためには、各出力光ファイバの光軸の方向を微妙に調整できることが望ましいが、作業が煩雑になる。光導波路6を図示するように曲がり導波路とし、入射端における導波路間隔を光ファイバの間隔より狭く設定し、かつ光軸方向を最適に設計することにより、上記のような出力光ファイバ5bに出射光4を直接結合する場合に比べて、基板面積の小型化、出射光の結合効率を向上させる効果がある。

【0039】今、波長1550nm付近で波長間隔4nmの光を分波するとする。上記の評価結果から波長が1550nm付近のTE偏光においては、波長間隔約4nmに対して $\Delta\theta = 1^\circ$ の出射角 $\theta$ の変化が得られる。レンズ体7の焦点距離を $f$ とすると光導波路6の入射端の間隔 $d$ は、 $d = f \cdot \sin(\Delta\theta)$ で与えられる。 $\sin(1^\circ) = 0.017$ であるから、 $f = 2\text{mm}$ とすると $d = 34\mu\text{m}$ の間隔で光導波路の入射端を配置すればよいことになる。この間隔を光ファイバの直径(125 $\mu\text{m}$ )以上になるように曲がり導波路により拡張すればよい。

【0040】さらに多層構造体1の片側に接して、多層構造体1からレンズ体7と反対方向に出射される光に対して反射手段8を設けることにより、出射光の出射方向を片側に限定できるため、より強い出射光が得られる。所望の波長の光を効率よく反射するように設計した多層膜層が反射手段8として好適である。また銀、アルミ、金、シリコン、ゲルマニウムなどの薄膜を蒸着法、スパッタ法などによって形成してもよい。なお、光導波路6a、出力光ファイバ5cは多層構造体1から屈折光として出射されず、導波された成分が入射端面と反対側の端面から出射されるのを結合するために設けられている。

【0041】上記図11の構成では、多層構造体1の両側に出射される光のうち、片側は反射手段8により反射させ、多層構造体1の片側のみに出射光の出力手段を設けた。しかし出射光は多層構造体1の両側で利用してもよい。図12は、多層構造体1の片側は空気面、もう片方の側には屈折率一定の導波層9とした例を示している。多層構造体1の両側で屈折率が異なるため、2種類の分光を同時に行なうことができる。例えば、両側でTE偏光用とTH偏光用に使い分けることができる。

【0042】図13は、多層構造体1の層面全体を緩やかに湾曲させて、集光手段なしでも同一波長の光が集光するようにしたものである。このような曲面形状もフォトマスクとして曲線状のパターンを設計するだけで容易に形成できる。

【0043】図14は、光源として半導体レーザ10を同一基板2上に集積し、この半導体レーザ10から出射される光を集光して出力用光ファイバ5dに結合させる装置である。半導体レーザ10の出射光は、同一基板2上に形成したレンズ体7により平行光3aとされ、多層構造体1の表面1bに入射される。上述の例とは逆に多層構造体1の表面1bから所定の角度 $\theta$ で入射された場合、多層構造体1の端面1aから出射光が得られる。半導体レーザ10からの出射光が多モード分散によって複数の波長を含む場合であっても、単一の波長のみを出力光とすることができる。

【0044】図14の構成からレンズを省略し、代わりに多層構造体1を湾曲させてもよい。その場合の配置例を図15に示した。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、周期的多層構造体からの屈折光が良好な指向性をもち、その方向が大きな波長依存性をもつことを利用して、高分解能の分光装置、偏光分離装置などを実現することができる。また本発明の構成によれば、周期的多層構造体に加えて複数の光学素子を同一基板上に集積することが容易となり、上記装置を大型化することなく実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光学素子の基本構造を示す模式図である。

【図2】本発明の周期的多層構造体を表わす説明図である。

【図3】2層の均質物質における導波光と屈折光の関係を示す図である。

【図4】周期的多層構造体のフォトリックバンド図の一例を示す図である。

【図5】周期的多層構造体の第1バンドにおける導波光と屈折光の関係を示す図である。

【図6】周期的多層構造体の第2バンドにおける導波光と屈折光の関係を示す図である。

11

12

【図7】周期的多層構造体の第3バンドにおける導波光と屈折光の関係を示す図である。

【図8】周期的構造体の実施例の構造を示す図である。

【図9】周期的構造体の評価用光学系を示す図である。

【図10】本発明の分光装置の構成例を示す斜視図である。

【図11】本発明の分光装置の他の構成例を示す平面図である。

【図12】本発明の分光装置の他の構成例を示す平面図である。

【図13】本発明の分光装置の他の構成例を示す平面図である。

【図14】本発明の集積光学装置の構成例を示す平面図である。

【図15】本発明の集積光学装置の他の構成例を示す平面図である。

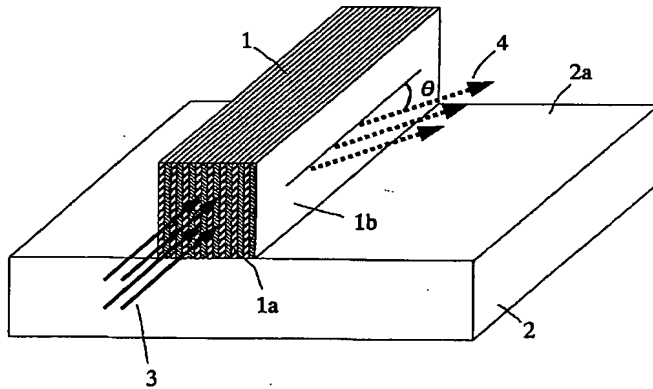
【図16】回折格子を用いた分光光学系の従来例を示す図である。

【符号の説明】

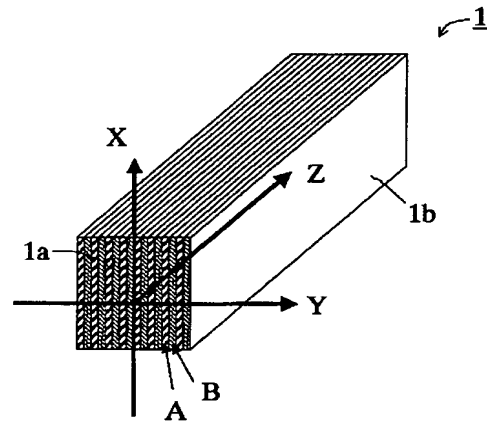
\*

- \* 1 周期的多層構造体
- 2 基板
- 3 入射光
- 4 出射光
- 5 a 入力側光ファイバ
- 5 b 出力側光ファイバ
- 6 光導波路
- 7 レンズ体
- 8 反射手段
- 10 9 光導波層
- 10 10 半導体レーザ
- 11 11 レーザ光源
- 12 12 1/4波長板
- 13 13 偏光プリズム
- 14 14 対物レンズ
- 15 15 光ファイバ
- 16 16 f- $\theta$ 結像レンズ
- 17 17 赤外光用CCDカメラ

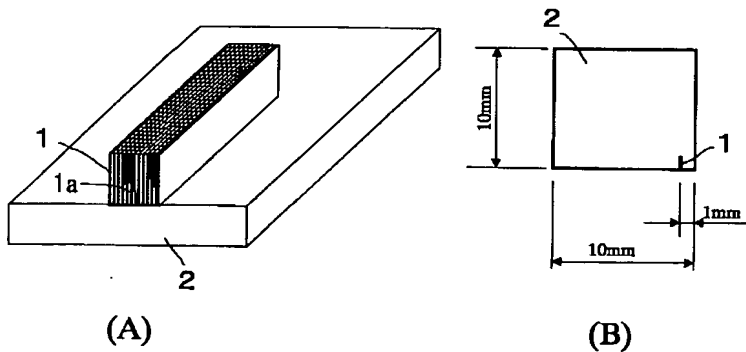
【図1】



【図2】

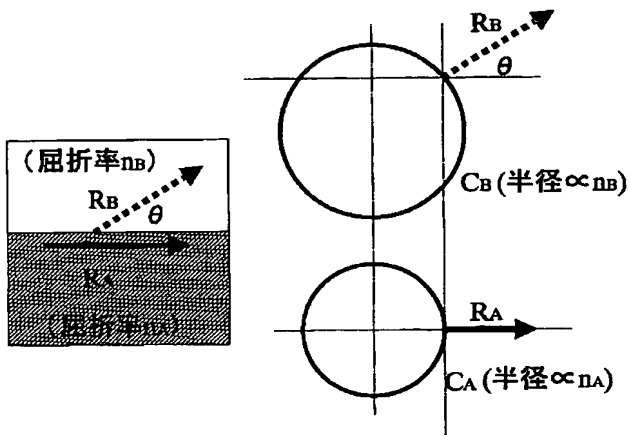


【図8】

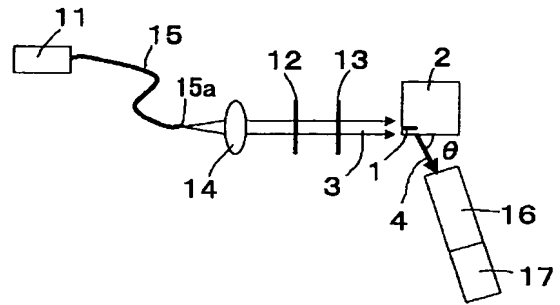




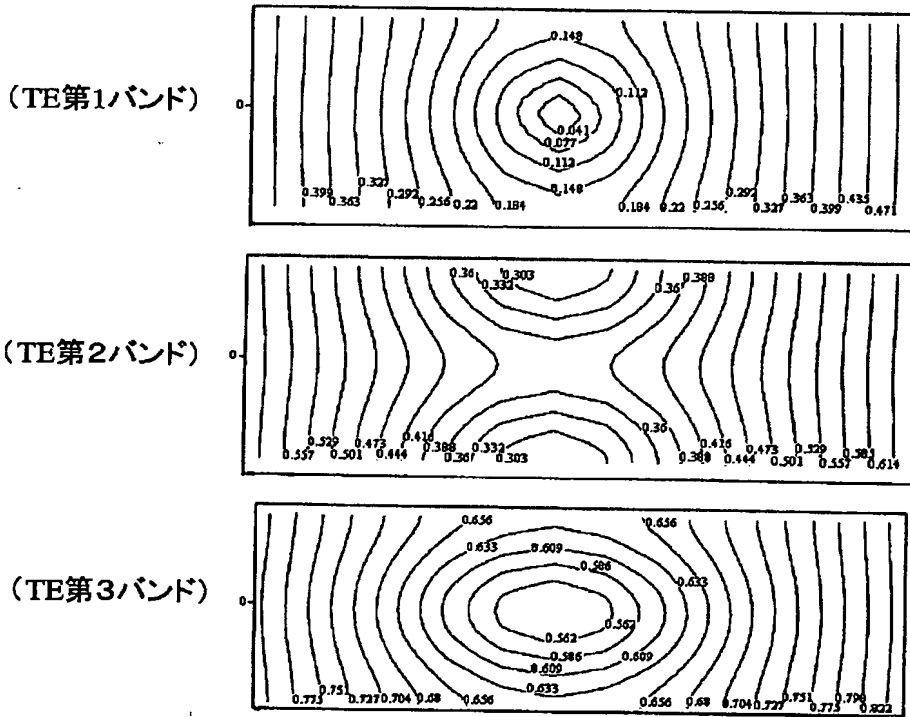
【図3】



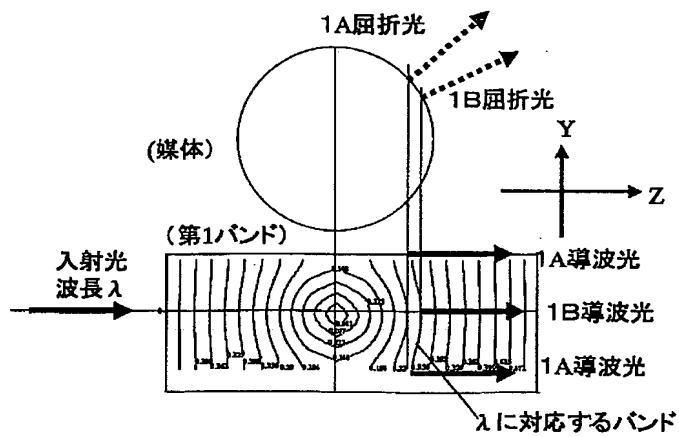
【図9】



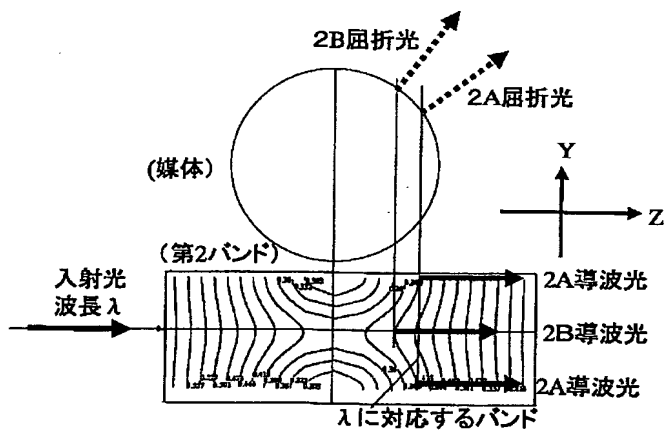
【図4】



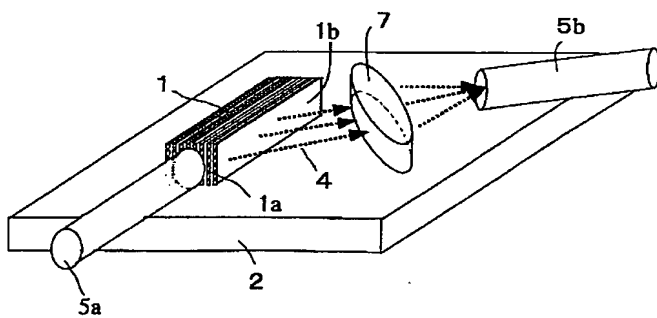
【図5】



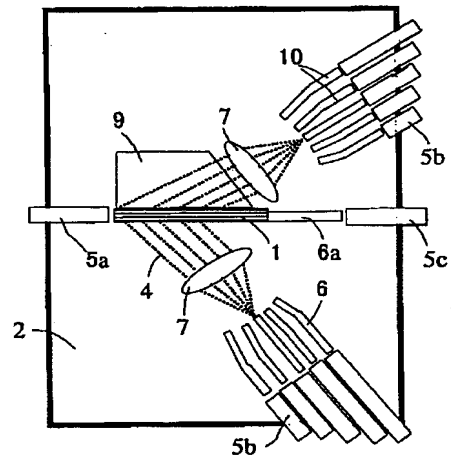
【図6】



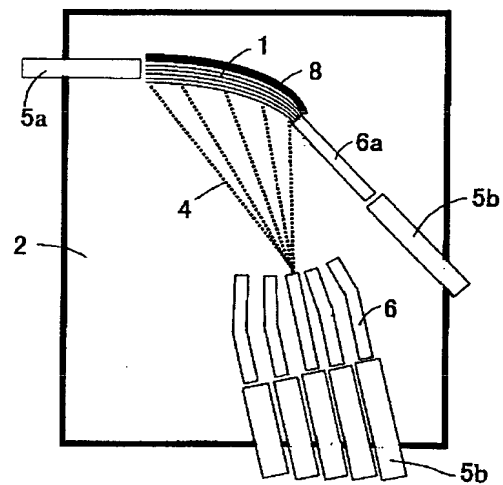
【図10】



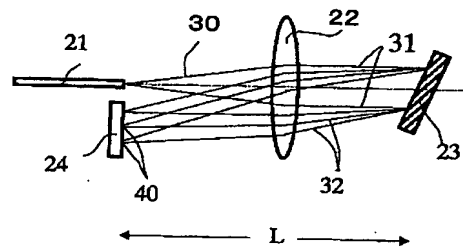
【図12】



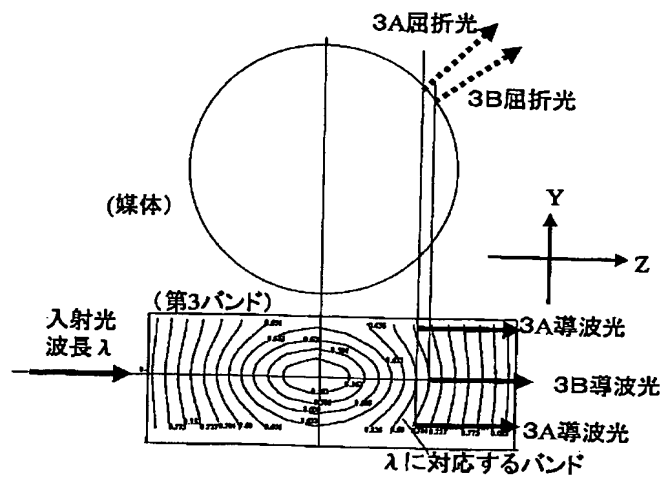
【図13】



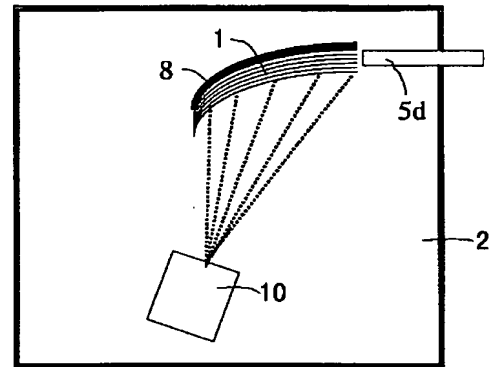
【図16】



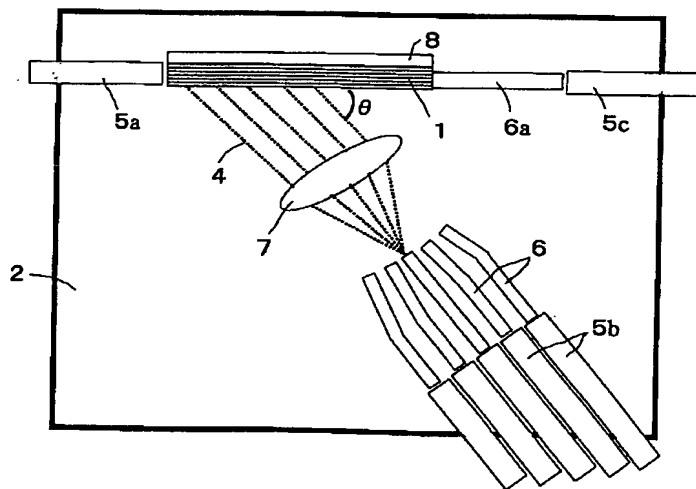
【図7】



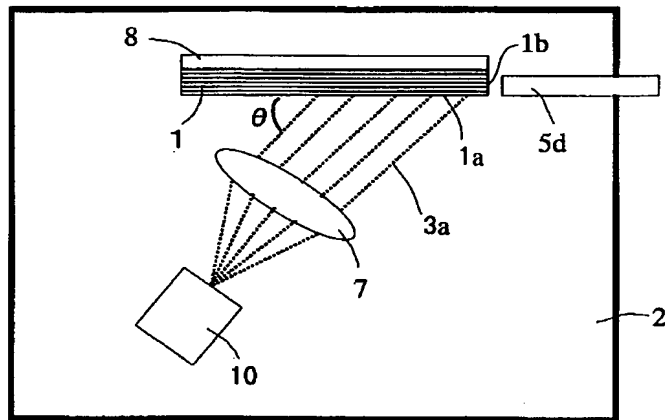
【図15】



【図11】



【図14】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I  
G 0 2 B 6/28

ターマコード (参考)

D

(72)発明者 浅井 貴弘  
大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号  
日本板硝子株式会社内  
(72)発明者 中澤 達洋  
大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号  
日本板硝子株式会社内

(72)発明者 小山 正  
大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号  
日本板硝子株式会社内  
Fターム(参考) 2H047 KA03 LA05 LA19 MA05 TA02  
2H049 AA02 AA33 AA37 AA58 AA59  
AA62 AA64 BA05 BA45 BB02  
BB06 BB62 BC23 BC25